Iranian Journal of Animal Science Research
Homepage: http://ijasr.um.ac.ir

Research Article
Vol. 16, No.3, 2024, p. 331-345

Determination of Zinc Requirement in Suckling Calves using Some Non-Linear Models

Mohammad Javad Elyasi[1], Khalil Zaboli[2*]

1- M.Sc. Graduated, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran.
*Corresponding author: zaboli@basu.ac.ir

Received: 14-02-2024 Revised: 28-05-2024 Accepted: 02-06-2024 Available Online: 03-12-2024	**How to cite this article:** Elyasi, M. J., & Zaboli, KH. (2024). Determination of zinc requirement in suckling calves using some non-linear models. *Iranian Journal of Animal Science Research*, *16*(3), 331-345. (in Persian with English abstract).

Introduction: Currently, trace elements are provided to livestock with the aim of achieving optimal growth and enhancing performance in the majority of farm animals. Zinc (Zn) is one of these elements. It has been found that Zn is present within the structure of numerous enzymes and plays a crucial role in various essential physiological functions within the body. Regarding a low concentration of Zn in surface soils in Iran (less than 0.8 mg/kg), resulting in Zn deficiency in plants grown in these soils. Consequently, the consumption of these plants as animal feed can lead to Zn deficiency in the animals' bodies. Therefore, it is imperative to include Zn in the diet of all animals. However, one of the basic problems regarding for addition of Zn to the livestock diets in Iran is the lack of accurate knowledge of the livestock requirement for Zn (according to the country's geographical conditions). The present study was carried out to determine the optimal requirement of Zn in Holstein suckling calves using some models.

Materials and Methods: In this experiment, a total of 30 Holstein suckling calves (5 treatments, n=6 calves/treatment) aged from 4 (42.75 ± 3.26 kg mean body weight) to 70 days (93.52 ± 3.97 kg mean body weight) were used in a completely random design. The experimental treatments consisted of zero (control), 15, 30, 45 and 60 mg Zn/kg DM of diet (in the form of zinc sulfate). The calves were fed with whole milk (approximately 10% of birth weight) in two equal meals daily at 08:00 and 19:00 and each calf's specific Zn requirement was supplemented to the evening meal milk in the form of zinc sulphate solution. Starter and fresh water were freely available for the calves throughout the experiment. The starter feed, provided in pellet form, consisted of a blend of corn grain, soybean meal, corn gluten, barley grain, wheat bran, sodium bicarbonate, and mineral and vitamin supplements. Additionally, chopped wheat straw (5%) and alfalfa hay (5%) incorporated into the starter feed from the 15th day of age until the weaning stage. During the experimental period, the calves' performance (including dry matter intake, average daily weight gain, feed conversion ratio and weaning weight) was systematically assessed. lood samples were taken from the jugular vein at the end of the trial (day 70) before the morning feeding for measurement of blood zinc and some parameters (glucose, urea, albumin and total protein) concentration.The performance of calves was assessed using simple broken line, quadratic broken line, and quadratic regression models. Subsequently, the Zn requirements for calves were estimated based on the optimal performance of calves as determined by these models.

Results and Discussion: Results showed that the including Zn to the diet of calves had no significant effect on dry matter intake and feed conversion ratio. Also, no significant differences were observed among treatments for the concentration of glucose, urea, albumin and total protein in blood serum. But it significantly increased the

http://doi.org//10.22067/IJASR.2024.86874.1190

average daily weight, blood zinc concentration and weaning weight of the calves ($p<0.05$). According to the analysis using a simple linear model, there was no statistically significant correlation between the Zn requirement and dry matter intake or daily weight gain. However, a significant correlation ($p<0.05$) was observed between the Zn requirement and weaning weight, as well as feed conversion ratio. Consequently, the Zn requirement for calves to achieve weaning weight and feed conversion ratio was determined to be 76.43 and 74.87 mg Zn/ kg DM in the diet, respectively. Based on the quadratic broken line model fitting, there was no statistically significant association between the Zn requirement for calves and their dry matter intake. However, a significant correlation was observed between the Zn requirement and other measured attributes ($p<0.05$). Consequently, the Zn requirement for daily weight gain, weaning weight, and feed conversion ratio was determined to be 83.96, 89.18, and 89.53 mg Zn/kg DM in the diet, respectively. Based on the quadratic regression model analysis, it was found that there was no statistically significant relationship between the Zn requirement and dry matter intake. However, a significant correlation was observed between the Zn requirement and other measured variables ($p<0.05$). Specifically, the Zn requirement for daily weight gain, weaning weight, and feed conversion ratio was determined to be 86.99, 79.50, and 86.99 mg Zn/kg DM in the diet, respectively. Fulfilling the Zn needs of calves resulted in optimal performance in terms of daily weight gain, weaning weight, and feed conversion ratio, with values of 759.2 g/d, 97.25 kg, and 2.21, respectively.

Conclusion: Overall, these results showed that the optimal dietary Zn requirement for Holstein suckling calves falls within the range of 74.89-89.53 mg Zn/kg DM of diet. Furthermore, providing this level of Zn in the diet resulted in the highest performance in calves.

Keywords: Performance, Suckling calf, Zinc

نشریه پژوهشهای علوم دامی ایران

Homepage: http://ijasr.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۱۶، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۳، ص. ۳۴۵-۳۳۱

تعیین نیاز عنصر روی در گوساله‌های شیرخوار با استفاده از برخی مدل‌های غیرخطی

محمد جواد الیاسی[۱]، خلیل زابلی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۲۵

تاریخ بازنگری:۱۴۰۳/۰۳/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۱۳

چکیده

عنصر روی یکی از عناصر مورد نیاز گوساله‌های شیرخوار است. اما عدم اطلاع دقیق از مقدار نیاز حیوان به آن، همیشه یک چالش اساسی بوده است. برای انجام این آزمایش، از تعداد ۳۰ رأس گوساله شیرخوار هلشتاین (پنج تیمار با شش تکرار) از سن ۴ (۴۲/۷۵ کیلوگرم) تا ۷۰ روزگی (۹۳/۵۲ کیلوگرم) در قالب طرح کاملاً تصادفی استفاده شد. تیمارها شامل سطوح صفر (شاهد)، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ میلی‌گرم عنصر روی (به‌شکل سولفات روی) در هر کیلوگرم ماده خشک جیره بود که به شیر وعده عصر اضافه می‌شد. در طول دوره آزمایش، عملکرد گوساله‌ها اندازه‌گیری شد. جهت اندازه‌گیری غلظت عنصر روی و فراسنجه‌های گلوکز، اوره، آلبومین و پروتئین‌کل، خون‌گیری از گوساله‌ها در روز آخر آزمایش، قبل از وعده غذایی صبح (ناشتا) انجام شد. داده‌های مربوط به عملکرد با استفاده از مدل‌های خط شکسته ساده، خط شکسته درجه دو و تابعیت درجه دو برازش شدند. نتایج نشان داد که افزودن عنصر روی به جیره گوساله‌ها سبب افزایش معنی‌دار وزن روزانه، وزن از شیرگیری و غلظت عنصر روی در خون شد ($p< 0/05$). مقدار عنصر روی مورد نیاز گوساله‌ها براساس برازش مدل‌های فوق، در محدوده ۸۹/۵۳ تا ۷۴/۸۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک جیره بود. با تأمین شدن نیاز عنصر روی در گوساله‌ها، بهترین عملکرد افزایش وزن روزانه، وزن از شیرگیری و ضریب تبدیل غذایی در آن‌ها به‌ترتیب ۷۵۹/۲ گرم در روز، ۹۷/۲۵ کیلوگرم و ۲/۲۱ مشاهده شد. به‌طور کلی، استفاده از عنصر روی در محدوده ۸۹/۵۳-۷۴/۸۷ میلی‌گرم به‌ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره سبب بهترین عملکرد در گوساله‌ها شد.

واژه های کلیدی: عملکرد، عنصر روی، گوساله شیرخوار

مقدمه

امروزه در اکثر واحدهای دامپروری، جهت رشد مناسب و بهبود عملکرد دام‌ها، از مواد معدنی کم‌مصرف در جیره غذایی آن‌ها استفاده می‌شود. یکی از این عناصر کم مصرف، عنصر روی (Zn) می‌باشد. گزارش شده است که عنصر روی در ساختمان بسیاری از آنزیم‌های بدن حضور دارد و از این طریق، بر عملکرد بسیاری از اعمال حیاتی بدن از قبیل رشد، متابولیسم کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، اسیدهای نوکلئیک، تقسیم و بازسازی سلول‌های بدن، سیستم ایمنی و تولید بافت‌های پوششی تأثیرگذار است (McDowell, 1992). براساس نظر اکثر محققین، کمبود عنصر روی، عوارض منفی بسیار زیادی در بدن دام ایجاد می‌کند که مهم‌ترین آن کاهش اشتها و به دنبال آن کاهش دریافت سایر مواد مغذی و کاهش رشد می‌باشد (Suttle, 2010). این کاهش اشتها می‌تواند از طریق اثر این عنصر بر بیان ژن‌های کنترل‌کننده اشتها باشد، زیرا مقدار تولید و ترشح هورمون‌ها و آنزیم‌هایی که در کنترل اشتها نقش دارند، تحت تأثیر کمبود روی تغییر می‌یابند. همچنین، عدم مصرف روی کافی در جیره، سبب تحریک کاتابولیسم پروتئین‌های بدن شده و از طریق تغییر متابولیسم اسیدهای نوکلئیک، بیوسنتز پروتئین‌ها در بدن محدود شده و رشد بافت‌های بدن تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Kaya *et al.*, 1998). علاوه‌براین، عنصر روی در سنتز ویتامین A در بدن، انتقال دی اکسید کربن، تخریب رادیکال‌های آزاد، پایداری دیواره سلول‌های قرمز خون، متابولیسم اسیدهای چرب ضروری، بیان ژن، انتقال سیگنال‌ها در سلول، رونویسی و سنتز RNA و معدنی شدن استخوان‌ها نقش دارد (NRC, 2007; Suttle, 2010).

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

۲- استادیار، گروه علوم دامی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: zaboli@basu.ac.ir)

http://doi.org/10.22067/IJASR.2024.86874.1190

تاکنون در مورد اثرات مثبت استفاده از مکمل روی در جیره دام-های مختلف تحقیقات بسیار زیادی انجام شده است. بر این اساس، در یک مطالعه، استفاده از مقدار ۲۰ میلی‌گرم عنصر روی به‌ازای هر کیلوگرم ماده خشک در جیره گوساله‌های نر، سبب افزایش وزن روزانه در آن‌ها شد (Wright and Spears, 2004). همچنین، علی-عربی و همکاران (Aliarabi *et al.*, 2015) گزارش کردند که افزودن مقادیر ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم عنصر روی به‌ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره، سبب بهبود عملکرد وزن و ضریب تبدیل غذایی بره‌های نر پرواری شد. لذا، به‌کار بردن مکمل عنصر روی در جیره غذایی تمامی دام‌ها به‌خصوص در کشور ایران اجتناب‌ناپذیر است، زیرا غلظت این عنصر در خاک‌های سطحی ایران بسیار کم (کمتر از ۰/۸ میلی-گرم در کیلوگرم) می‌باشد (Malakouti *et al.*, 2002). بنابراین، گیاهانی که در این خاک‌ها پرورش داده می‌شوند، با کمبود روی مواجه هستند و مصرف این گیاهان به‌عنوان خوراک دام می‌تواند سبب کمبود این عنصر در بدن دام شود، امّا یکی از مشکلات اساسی در خصوص افزودن عنصر روی به جیره دام‌های کشور، عدم اطلاع دقیق از مقدار احتیاجات غذایی دام‌ها به این عنصر (با توجه به شرایط جغرافیایی کشور) می‌باشد. بدین ترتیب، تعیین نیاز دام‌ها به این عنصر همواره یک چالش برای دامپروران و متخصصان صنعت دامپروری بوده است.

در بحث تغذیه گوساله‌های شیرخوار، استفاده از مکمل‌های معدنی، به‌خصوص عنصر روی، دارای جایگاه ویژه‌ای است. مطابق جداول استاندارد غذایی، نیاز گوساله‌های در حال رشد به عنصر روی در حدود ۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک جیره می‌باشد (NRC, 2001). درحالی‌که توصیه‌های جدید، این مقدار نیاز را ۸۴–۷۰ میلی-گرم در کیلوگرم ماده خشک جیره پیشنهاد کرده‌اند (NRC, 2021). اما در گوساله‌های شیرخوار، به‌دلیل فقیر بودن شیر از نظر عنصر روی، نیاز این گوساله‌ها به عنصر روی از طریق مصرف شیر تأمین نشده و لذا افزودن عنصر روی به جیره آن‌ها ضروری می‌باشد (Suttle, 2010)، زیرا همان‌طور که قبلاً ذکر شد، کمبود این عنصر از طریق کاهش اشتها، سبب کاهش رشد و همچنین، کاهش سطح ایمنی بدن گوساله‌ها خواهد شد (Suttle, 2010). لازم به ذکر است که مقادیر گزارش شده در جداول استاندارد غذایی را نمی‌توان به‌طور قطع برای تأمین احتیاجات عنصر روی در گوساله‌های شیرخوار در کشور ایران به‌کار گرفت و نیاز است که مقدار مورد نیاز این حیوانات به عنصر روی از طریق روش‌های علمی برآورد گردد.

به‌طور کلی، به‌منظور تعیین نیاز مواد مغذی در دام‌ها از روش‌های متعددی استفاده می‌شود. یکی از این روش‌ها، استفاده از انواع مدل-های خط شکسته و روش‌های تابعیت می‌باشد (Robbins *et al.*, 2006). لازم به ذکر است که در خصوص تعیین نیاز عنصر روی در دام‌ها، تحقیقات بسیار اندکی صورت گرفته است. در یک مطالعه، با به‌کارگیری سطوح مختلف عنصر روی در جیره و استفاده از روش تابعیت درجه دو مشخص شد که نیاز بره‌های نر مهربان به عنصر روی، به‌منظور حداکثر مصرف خوراک و افزایش وزن روزانه به‌ترتیب ۶۸/۵۹ و ۸۱/۳۷ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره بود (Mehradkia, 2019).

با توجه به موارد فوق و عدم وجود تحقیق جامع در خصوص مصرف سطح مطلوب عنصر روی در جیره گوساله‌های شیرخوار و اهمیت مصرف این عنصر در جیره این حیوانات، پژوهش حاضر به-منظور تعیین نیاز عنصر روی با استفاده از برخی از مدل‌های خط شکسته و تابعیت در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین انجام شد.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در مجتمع کشت و صنعت اصلانی واقع در شهرستان قهاوند از توابع استان همدان انجام شد. بدین منظور، تعداد ۳۰ رأس گوساله شیرخوار نژاد هلشتاین از روز چهارم تولد (با میانگین وزن ۳/۲۶ ± ۴۲/۷۵ کیلوگرم) تا سن از شیرگیری (۷۰ روزگی، با میانگین وزن ۳/۹۷ ± ۹۳/۵۲ کیلوگرم) در جایگاه‌های انفرادی به ابعاد ۱ × ۲ متر قرارگرفتند. جایگاه نگهداری گوساله ها، ابتدا تمیز و ضدعفونی شده، و بستر پس از شعله‌افکنی، با کاه و کلش پوشانده شد. قبل از شروع آزمایش، همه گوساله‌ها به‌مدت سه روز آغوز دریافت کردند و در روز چهارم آزمایش وزن‌کشی و به‌صورت تصادفی (براساس وزن زنده) در پنج تیمار آزمایشی دسته‌بندی شدند. تیمارهای آزمایشی به‌ترتیب شامل سطوح صفر (شاهد، جیره پایه حاوی مقدار ۲۹/۶۸ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره)، ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره بود. به‌منظور اضافه کردن عنصر روی به جیره، از نمک سولفات روی (تولید شده توسط شرکت SAMCHUN، کشور کره جنوبی) استفاده شد. گوساله‌ها روزانه دو وعده و در ساعات ۸:۰۰ و ۱۹:۰۰ (به‌مقدار ۱۰ درصد وزن بدن) شیر دریافت می‌کردند و مقدار مکمل روی مورد نیاز هر گوساله به‌صورت محلول سولفات روی و به‌صورت انفرادی به شیر وعده عصر هر یک از گوساله‌ها اضافه شد.

استارتر و آب تازه از روز اول آزمایش به‌صورت آزاد در اختیار گوساله‌ها قرار داشت. اجزای تشکیل‌دهنده استارتر شامل دانه ذرت، کنجاله سویا، گلوتن ذرت، دانه جو، سبوس گندم، بی‌کربنات سدیم، مکمل‌های معدنی و ویتامینه مخصوص گوساله بود که به‌صورت آماده و استارتر به‌صورت پلت شده (آجیلی) بود. از سن ۱۵ روزگی گوساله‌ها، کاه گندم خرد شده (پنج درصد) و یونجه خرد شده (پنج درصد) به استارتر آن‌ها اضافه شده و تا پایان دوره شیرخوارگی در اختیار گوساله‌ها قرار گرفت (جدول ۱).

در طول دوره آزمایش، مقدار خوراک مصرفی به‌صورت روزانه اندازه‌گیری و تغییرات وزن گوساله‌ها هر دو هفته یک بار ثبت شد و

بر این اساس، صفات عملکردی (شامل مقدار ماده خشک مصرفی، میانگین افزایش وزن روزانه، ضریب تبدیل غذایی و وزن از شیرگیری) گوساله‌ها محاسبه شد. نمونه خون در روز آخر آزمایش، قبل از نوبت غذایی صبح، از سیاهرگ وداج گوساله‌ها (بدون اضافه کردن ماده ضدانعقاد) گرفته شد. نمونه خون جهت جداسازی سرم به آزمایشگاه ارسال شد. برای جداسازی سرم خون در آزمایشگاه، ابتدا نمونه‌های خون به‌مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه سانتریفوژ شده و سرم جداسازی شده به داخل میکروتیوب‌های یک میلی‌لیتری منتقل و در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

به‌منظور تعیین قابلیت هضم، نمونه‌برداری از مدفوع در پنج روز آخر دوره آزمایشی از طریق رکتوم گوساله‌ها انجام شده و درصد قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی جیره با استفاده از روش خاکستر نامحلول در اسید محاسبه شد (Van Keulen and Young, 1977). برای اندازه‌گیری غلظت گلوکز، اوره، آلبومین و پروتئین کل سرم خون از کیت آزمایشگاهی شرکت پارس آزمون با استفاده از دستگاه اتوآنالایزر (مدل کلاسیک آلفا، ایران) و برای اندازه‌گیری غلظت عنصر روی سرم خون از دستگاه جذب اتمی (مدل واریان، استرالیا) استفاده شد.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی مواد خوراکی

Table 1- Chemical composition of feed-stuffs

ترکیبات شیمیایی Chemical components	استارتر آجیلی Starter	یونجه Alfalfa	کاه گندم Wheat straw
ماده خشک Dry matter (%)	89.00	93.42	90.37
ماده آلی Organic matter (%)	93.28	90.25	93.4
پروتئین خام Crude protein (%)	21.44	15.06	3.90
دیواره سلولی NDF (%)	28.21	46.70	78.35
دیواره سلولی بدون همی‌سلولز ADF (%)	7.20	34.50	50.10
انرژی قابل متابولیسم[1] ME[1] (Mcal/kg)	3.23	2.09	1.44
مواد معدنی Minerals			
کلسیم Ca (%)	0.925	1.69	0.40
فسفر P (%)	0.620	0.23	0.07
روی Zn (Mg/kg DM)	30.98	23.01	6.48
مس Cu (Mg/kg DM)	14.00	11.47	3.84
آهن Fe (Mg/kg DM)	95.40	377.0	156.6

انرژی قابل متابولیسم با استفاده از جدول NRC (2001) محاسبه گردید.

[1] Metabolizable Energy was calculated based on NRC (2001).

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد (SAS, 1999). مدل آماری به‌صورت $Y_{ij} = \mu + T_i + e_{ij}$ بود که در آن، Y_{ij}: مقدار هر مشاهده، μ: اثر میانگین، T_i: اثر تیمار و e_{ij}: اثر خطای آزمایشی بود. جهت تعیین نیاز عنصر روی، از آنالیز خط شکسته ساده، خط شکسته درجه دو و تابعیت درجه دو و نرم‌افزار SAS استفاده شد (SAS, 1999). معادلات مربوط به مدل‌ها به‌صورت زیر بودند (Robbins *et al.*, 2006):

مدل خط شکسته ساده (معادله ۱):

$$Y = L + U(R - X) \quad \text{for } X < R$$
$$Y = L \quad \text{for } X > R$$

مدل خط شکسته درجه دو (معادله ۲):

$$Y = L + U(R - X)^2 \quad \text{for } X < R$$
$$Y = L \quad \text{for } X > R$$

در معادله‌های ۱ و ۲، Y: معادل عملکرد یا پاسخ دام، L: معادل عرض نقطه شکسته یا حداکثر عملکرد دام، R: معادل طول نقطه

شکست یا مقدار نیاز حیوان به عنصر روی و U: معادل شیب خط قبل از نقطه شکست بود.

مدل تابعیت درجه ۲ (معادله ۳):

$$Y = a + bX + cX^2$$

در معادله ۳، Y: معادل متغیر وابسته (عملکرد یا پاسخ دام)، X: معادل غلظت عنصر روی در جیره و a، b و c: پارامترهای تخمین زده شده در مدل (ثابت‌های مدل) بودند. اگر مشتق تابع معادله ۳ ($Y' = b + 2cX$) معادل صفر در نظر گرفته شود، در این صورت، مقدار X به‌دست آمده (نقطه مماس منحنی و دارای شیب صفر)، به‌عنوان نیاز عنصر روی پیش‌بینی شده در نظر گرفته می‌شود و با قرار دادن مقدار X به‌دست آمده در معادله ۳، مقدار Y یا حداکثر عملکرد (بیشترین بازده مصرف عنصر روی) به‌دست خواهد آمد.

نتایج و بحث

نتایج مربوط به تأثیر استفاده از سطوح مختلف عنصر روی بر عملکرد گوساله‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، افزودن عنصر روی به جیره گوساله‌ها سبب شد که ماده خشک مصرفی و ضریب تبدیل غذایی در گوساله‌ها تغییر معنی‌داری نکند، امّا افزایش وزن روزانه و وزن از شیرگیری گوساله‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت ($p< ۰/۰۵$). مشابه نتایج ما، در یک پژوهش که روی گوساله‌های شیرخوار هلشتاین انجام گرفته بود، مشخص شد که افزودن مقدار ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک جیره عنصر روی، از طریق دو نوع مکمل اکسید روی و نانو اکسید روی، تأثیر معنی‌داری بر ماده خشک مصرفی و ضریب تبدیل غذایی آن‌ها نداشت، امّا سبب بهبود افزایش وزن روزانه و وزن از شیرگیری گوساله‌ها شد (Seifdavati *et al.*, 2018). همچنین، استفاده از مقدار ۸۰ میلی‌گرم عنصر روی به‌ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره (به‌صورت سولفات روی) به‌مدت ۹۰ روز در جیره گوساله‌های شیرخوار سبب شد که افزایش وزن روزانه گوساله‌ها بهبود یابد (Prakash Pal *et al.*, 2021)، امّا برخلاف نتایج ما، افزودن مقدار ۶۰ میلی‌گرم عنصر روی به هر کیلوگرم ماده خشک جیره (به‌صورت سولفات روی) گوساله‌های شیرخوار، اثری بر افزایش وزن روزانه آن‌ها نداشت (Arrayet *et al.*, 2002). همچنین، گزارش شده است که افزودن مقدار ۱۵۰ میلی‌گرم عنصر روی به‌ازای هر کیلوگرم از ماده خشک جیره (به‌صورت سولفات روی)، اثر منفی بر رشد گوساله‌های پرواری داشت که علت آن مصرف بیش از حد عنصر روی در جیره آن‌ها گزارش شد (Fagari-Nobijari *et al.*, 2012).

براساس نظر محققین، عنصر روی در تنظیم اشتها در بدن نقش دارد و فقدان یا کمبود آن سبب کاهش اشتها می‌شود. این کاهش اشتها می‌تواند از طریق اثر این عنصر بر بیان ژن‌های کنترل‌کننده اشتها باشد، زیرا مقدار تولید و ترشح هورمون‌ها و آنزیم‌هایی که در کنترل اشتها نقش دارند، تحت تأثیر کمبود روی تغییر می‌یابند. بر این اساس، کاهش اشتها، اولین علامت فقدان روی در بدن می‌باشد (Suttle, 2010). همچنین، کمبود عنصر روی در بدن سبب کاهش تولید و ترشح هورمون رشد و فاکتور رشد شبه انسولین (IGF-1) نیز می‌شود. این دو هورمون در رشد و افزایش وزن بدن تأثیر زیادی دارند (McDonald, 2000). از طرف دیگر، کمبود روی در بدن سبب کاهش متابولیسم کربوهیدرات‌ها (کاهش بیان ژن آنزیم پیروات کیناز) و کاهش ترشح هورمون انسولین در بدن می‌شود. نتیجه نهایی این وضعیت می‌تواند عملکرد حیوان را تحت تأثیر قرار دهد (Kennedy *et al.*, 1998). همچنین گزارش شده است که افزودن مقدار بیش از حد عنصر روی به جیره، از طریق کاهش خوش‌خوراکی، اثر منفی بر مصرف خوراک دارد (Malcolm-Callis *et al.*, 2000). به نظر می‌رسد که در پژوهش حاضر، مقدار عنصر روی موجود در جیره پایه (مقدار ۲۹/۶۸ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره)، تا حدودی نیاز گوساله‌های شیرخوار را تأمین کرده است، به‌طوری‌که افزودن آن به جیره پایه، تا میزان ۶۰ میلی‌گرم به‌ازای هر کیلوگرم از ماده خشک جیره، اثری بر مصرف خوراک آن‌ها نداشت، اما با توجه به اثر مثبت عنصر روی بر بهبود متابولیسم و فرآیند رشد بدن، به نظر می‌رسد که مصرف آن در سطوح بالاتر باعث بهبود عملکرد گوساله‌ها به‌خصوص در تیمار ۵ شده است.

نتایج مربوط به اثر استفاده از سطوح مختلف عنصر روی بر غلظت عنصر روی سرم خون و برخی فراسنجه‌های خونی در گوساله-های شیرخوار هلشتاین در جدول ۳ ارائه شده است. مطابق جدول فوق، افزودن عنصر روی به جیره سبب افزایش معنی‌دار غلظت آن در خون گوساله‌ها شد ($p<۰/۰۵$). مشابه نتایج ما، علی‌محمدی و همکاران (Alimohamady *et al.*, 2019) گزارش کردند که افزودن مقدار ۳۰ میلی‌گرم عنصر روی به‌ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره، سبب افزایش معنی‌دار مقدار این عنصر در خون بره‌های نر پرواری شد. همچنین دترز و همکاران (Deters *et al.*, 2021) گزارش کردند که افزودن مقدار ۱۵ میلی‌گرم عنصر روی به‌ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره، سطح عنصر روی خون بره‌ها را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. درسلر و همکاران (Dresler *et al.*, 2016) نیز گزارش کردند که استفاده از عنصر روی در جیره گوساله‌های از شیر گرفته شده، سبب افزایش معنی‌دار غلظت عنصر روی در خون آن‌ها شد، امّا برخلاف نتایج تحقیق حاضر، فقاری- نوبیجاری و همکاران (Fagari-Nobijari *et al.*, 2012) گزارش کردند که مصرف ۱۵۰ میلی‌گرم عنصر روی به‌ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره، اثر معنی‌داری بر مقدار این عنصر در خون گوساله‌ها نداشت که علت آن احتمالاً به‌دلیل کافی بودن مقدار عنصر روی در جیره پایه (۴۴/۸ میلی‌گرم به‌ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره) بوده است.

جدول ۲- اثر سطوح مختلف عنصر روی بر عملکرد گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

Table 2- Effect of different levels of zinc on performance of Holstein suckling calves

فراسنجه‌ها Parameters	تیمار ۱ Treatment 1	تیمار ۲ Treatment 2	تیمار ۳ Treatment 3	تیمار۴ Treatment 4	تیمار ۵ Treatment 5	خطای استاندارد میانگین SEM	سطح خطا p-value
ماده خشک مصرفی (گرم بر روز) Dry matter intake (g/day)	1532.83	1657.51	1649.43	1658.03	1692.41	77.92	0.2970
افزایش وزن روزانه (گرم بر روز) Average daily gain (g)	628.29 [b]	712.50 [ab]	724.29 [ab]	750.36 [a]	765.00 [a]	43.93	0.0413
وزن از شیرگیری (کیلوگرم) Weaning weight (kg)	87.10 [b]	93.00 [ab]	94.00 [ab]	96.25 [a]	97.25 [a]	4.00	0.0260
ضریب غذایی تبدیل Feed conversion ratio	2.46	2.33	2.29	2.21	2.21	0.11	0.1774

تیمارهای آزمایشی شامل: تیمار ۱ (شاهد، جیره آغازین حاوی ۲۹/۶۸ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره)، تیمار ۲ (جیره آغازین + ۱۵ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی)، تیمار ۳ (جیره آغازین + ۳۰ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی)، تیمار ۴ (جیره آغازین + ۴۵ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی و تیمار ۵ (جیره آغازین + ۶۰ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی)

حروف متفاوت در هر ردیف، نشان‌دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار (p< ۰/۰۵) می باشد.

Treatments included: Treatment 1 (Control, basal diet with 29.68 mg Zn/kg DM), treatment 2 (basal diet + 15 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate), treatment 3 (basal diet + 30 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate), treatment 4 (basal diet + 45 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate) and treatment 5 (basal diet + 60 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate).

Means with different superscript letters in rows are significantly different (p<0.05).

جدول ۳- اثر سطوح مختلف عنصر روی بر غلظت عنصر روی خون و برخی فراسنجه‌های خونی در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

Table 3- Effect of different levels of zinc on blood zinc concentration and some blood parameters in Holstein suckling calves

فراسنجه‌ها Parameters	تیمار ۱ Treatment 1	تیمار ۲ Treatment 2	تیمار ۳ Treatment 3	تیمار۴ Treatment 4	تیمار ۵ Treatment 5	خطای استاندارد میانگین SEM	سطح خطا p-value
عنصر روی (میلی‌گرم بر لیتر) Zinc (mg/l)	0.93 [b]	1.12 [a]	1.18 [a]	1.17 [a]	1.17 [a]	0.10	<0001
گلوکز (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر) Glucose (mg/dl)	81.92	83.83	75.42	78.00	78.75	4.62	0.7245
اوره (میلی‌گرم بر دسی‌لیتر) Urea (mg/dl)	26.67	22.48	23.17	25.83	22.98	2.93	0.8638
آلبومین (گرم بر دسی‌لیتر) Albumin (g/dl)	3.22	3.18	3.22	3.18	3.21	0.09	0.9913
پروتئین کل (گرم بر دسی‌لیتر) Total protein (g/dl)	6.07	5.67	5.71	5.85	5.92	0.15	0.3254

تیمارهای آزمایشی شامل: تیمار ۱ (شاهد، جیره آغازین حاوی ۲۹/۶۸ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره)، تیمار ۲ (جیره آغازین + ۱۵ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی)، تیمار ۳ (جیره آغازین + ۳۰ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی)، تیمار ۴ (جیره آغازین + ۴۵ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی و تیمار ۵ (جیره آغازین + ۶۰ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی)

حروف متفاوت در هر ردیف، نشان‌دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار (p<۰/۰۵) می باشد.

Treatments included: Treatment 1 (Control, basal diet with 29.68 mg Zn/kg DM), treatment 2 (basal diet + 15 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate), treatment 3 (basal diet + 30 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate), treatment 4 (basal diet + 45 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate) and treatment 5 (basal diet + 60 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate).

Means with different superscript letters in rows are significantly different (p<0.05).

گزارش شده است که در اکثر مواقع، غلظت عنصر روی در خون به‌عنوان یک شاخص از وضعیت این عنصر در بدن مورد بررسی قرار می‌گیرد، زیرا افزودن عنصر روی به جیره سبب افزایش سطح آن در خون می‌شود، به‌خصوص در حیواناتی که با جیره دارای کمبود روی تغذیه شده باشند (Suttle, 2010). در آزمایش حاضر، مقدار عنصر روی در خون گوساله‌ها در تیمارهای آزمایشی در محدود ۰/۹۳۱ – ۱/۱۸۴ میلی‌گرم در لیتر بود. لازم به ذکر است که سطح طبیعی آن در خون گوساله‌ها و گاوها در محدوه ۰/۷ – ۱/۳ میلی‌گرم بر لیتر

می‌باشد (NRC, 2001) و این نشان داد که گوساله‌ها از نظر این عنصر دارای کمبود نبودند. همچنین، از آن‌جایی‌که بدن حیوان نمی‌تواند مقدار زیادی از عنصر روی را در خود ذخیره کند، لذا نیاز است که این عنصر به‌طور مداوم از طریق جیره غذایی تأمین شود (Pal et al., 2010).

مطابق جدول ۳، افزودن عنصر روی به جیره اثر معنی‌داری بر مقدار گلوکز، اوره، آلبومین و کل پروتئین خون گوساله‌ها نداشت. در تأیید نتایج ما، سیفدواتی و همکاران (Seifdavati et al., 2018) گزارش کردند که استفاده از مقدار ۳۰ و ۶۰ میلی‌گرم نانو اکسید روی به‌ازای هر کیلوگرم از ماده خشک جیره در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین، اثری بر میزان فراسنجه‌های خون نداشت. عزیز زاده و همکاران (Azizzadeh et al., 2005) نیز گزارش کردند که افزودن مقدار ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم عنصر روی به‌ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره در گوساله‌های شیرخوار به‌مدت ۱۴ روز، اثر معنی‌داری بر مقدار گلوکز، آلبومین و کل پروتئین خون آن‌ها نداشت. برخلاف نتایج فوق، فودا و همکاران (Fouda et al., 2011) بیان کردند که افزودن اکسیدروی به جیره گوسفندانی که از قبل دچار علائم کمبود روی بودند، سبب افزایش معنی‌دار مقدار آلبومین و پروتئین کل سرم خون آن‌ها شد. از آن‌جایی‌که ارتباط قوی بین عنصر روی و آلبومین سرم خون وجود دارد و بخش زیادی از عنصر روی در خون از طریق آلبومین جابه‌جا می‌شود، لذا افزایش مصرف عنصر روی در جیره سبب افزایش سطح آلبومین خون می‌شود (Suttle, 2010). همچنین، ارتباط معنی‌داری بین عنصر روی و پروتئین کل سرم خون وجود دارد و در شرایط مواجهه با کمبود روی، سطح پروتئین کل سرم خون کاهش می‌یابد و لذا افزایش سطح روی در جیره سبب افزایش مقدار پروتئین کل سرم خون می‌شود (Choudhary, 2013).

عنصر روی نقش اصلی در کاهش سطح گلوکز سرم خون دارد، زیرا این عنصر اثر مثبت بر ترشح و رهاسازی هورمون انسولین داشته و همچنین بر فعالیت برخی از آنزیم‌های مسیر گلیکولیز نیز تأثیرگذار است (Zaboli, 2013). همچنین، افزایش عنصر روی به جیره، تجزیه پروتئین در شکمبه را کاهش داده و سبب افزایش فرار پروتئین از شکمبه می‌شود، لذا عنصر روی بر متابولیسم پروتئین در بدن اثرگذار است (Kincaid et al., 1997). بررسی میزان اوره و پروتئین‌های سرم خون نیز یکی از راه‌های بررسی متابولیسم روی در بدن می‌باشد. همچنین، ارتباط زیادی بین عنصر روی و آلبومین خون وجود دارد، زیرا ۶۶ درصد جابجایی عنصر روی در خون از طریق آلبومین صورت می‌گیرد. به همین دلیل، بررسی مقدار فراسنجه‌های فوق در خون می‌تواند اثرات احتمالی مصرف عنصر روی در بدن را نشان دهد (Suttle, 2010).

نتایج مربوط به اثر استفاده از سطوح مختلف عنصر روی بر قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی در گوساله‌ها در جدول ۴ ارائه شده است. مطابق جدول ذیل، افزودن عنصر روی به جیره، قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی را تحت تأثیر قرار نداد.

جدول ٤- اثر سطوح مختلف عنصر روی بر درصد قابلیت هضم در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین

Table 4- Effect of different levels of zinc on digestibility percentage in Holstein suckling calves

فراسنجه‌ها Parameters	تیمار ۱ Treatment 1	تیمار ۲ Treatment 2	تیمار ۳ Treatment 3	تیمار۴ Treatment 4	تیمار ۵ Treatment 5	خطای استاندارد میانگین SEM	سطح خطا p-value
قابلیت هضم ماده خشک Dry matter digestibility	76.75	75.45	76.82	77.30	77.90	4.87	0.8103
قابلیت هضم ماده آلی Organic matter digestibility	76.74	78.26	77.69	77.67	78.64	5.15	0.8863

تیمارهای آزمایشی شامل: تیمار ۱ (شاهد، جیره آغازین حاوی ۲۹/۶۸ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره)، تیمار ۲ (جیره آغازین + ۱۵ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی)، تیمار ۳ (جیره آغازین + ۳۰ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی)، تیمار ۴ (جیره آغازین + ۴۵ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی و تیمار ۵ (جیره آغازین + ۶۰ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره از طریق سولفات روی)

حروف متفاوت در هر ردیف، نشان‌دهنده وجود اختلاف آماری معنی‌دار ($p<0.05$) می باشد.

Treatments included: Treatment 1 (Control, basal diet with 29.68 mg Zn/kg DM), treatment 2 (basal diet + 15 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate), treatment 3 (basal diet + 30 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate), treatment 4 (basal diet + 45 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate) and treatment 5 (basal diet + 60 mg Zn/kg DM as a zinc sulphate).

Means with different superscript letters in rows are significantly different ($p<0.05$).

مشابه نتایج ما علی‌محمدی و همکاران (Alimohamady et al., 2019) گزارش کردند که افزودن مقدار ۳۰ میلی‌گرم عنصر روی به‌ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره بره‌های نر پرواری، اثری بر قابلیت هضم ماده خشک و ماده آلی نداشت. همچنین، ماندال و

همکاران (Mandal *et al.*, 2007) گزارش کردند که افـزودن مقـدار ۳۵ میلی‌گرم عنصر روی به جیره گوساله‌های در حال رشد، اثـری بـر قابلیت هضم ماده خشک جیره نداشت. ملاکی و همکاران (Mallaki *et al.*, 2015) نیز نتایج مشابهی را برای قابلیت هضم ماده خشـک و ماده آلی در بره‌های در حال رشد زندی گزارش کردند. به نظـر مـی‌رسد، باتوجه به اینکه مقدار عنصر روی موجود در جیره پایه تا حدودی نیاز گوساله‌های شیرخوار را تأمین کرده است، لذا افزودن آن به جیـره پایه، اثری بر قابلیت هضم نداشت.

نتایج مربوط به تعیین نیاز عنصر روی در گوسـاله‌هـای شـیرخوار براساس مدل خط شکسته ساده در جدول ۵ ارائه شده اسـت. مطـابق جدول فوق، براساس برازش مدل خط شکسته ساده، تابعیت بین نیـاز عنصر روی با صـفات مـاده خشـک مصـرفی و افـزایش وزن روزانـه معنی‌دار نبود، امّا تابعیت نیاز عنصر روی با صفات وزن از شیرگیری و ضریب تبدیل غذایی معنی‌دار بود (p< ۰/۰۵). بر ایـن اسـاس، میـزان عنصر روی مورد نیاز گوسـاله‌هـا بـرای صـفات وزن از شـیرگیـری و ضریب تبدیل غـذایی بـه‌ترتیـب ۷۶/۴۳ و ۷۴/۸۷ میلـی‌گـرم در هـر کیلوگرم از ماده خشک جیره به‌دست آمد. به عبـارت دیگـر، براسـاس نتایج برازش مدل خط شکسته ساده، مصـرف عنصـر روی تـا ۷۶/۴۳ میلی‌گرم به‌ازای هر کیلوگرم از ماده خشک جیـره، وزن از شـیرگیری گوساله‌ها را تا ۹۷/۲۵ کیلوگرم افزایش داد، امّا مصرف بیشتر از مقـدار فوق (۷۶/۴۳ میلی‌گرم)، تأثیری بر وزن از شـیرگیری آن‌هـا نداشـت. همچنین، مصرف مقـدار ۷۴/۸۷ میلـی‌گـرم عنصـر روی بـه‌ازای هـر کیلوگرم از ماده خشک جیره سبب کاهش ضریب تبـدیل غـذایی بـه ۲/۲۱ شد، امّا مصرف بیشتر از آن، اثری بر ضریب تبـدیل غـذایی در گوساله‌ها نداشت (شکل ۲ و شکل ۳).

اکثر محققین اعلام کرده‌اند کـه اسـتفاده از مـدل خـط شکسـته، بهترین روش برای تعیین نیاز مواد مغذی در دام می‌باشد و ایـن روش دارای کمترین خطا بوده و می‌تواند به‌عنوان یک مـدل مناسـب بـرای تعیین نیاز مواد مغذی در حیوانات مختلف استفاده شود (Pesti *et al.*, 2009). در یک مطالعه، اثر سطوح مختلف عنصر روی (سـطوح ۸ تـا ۸۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک جیره) بر عملکـرد گوسـاله‌هـای شیرخوار براون‌سوئیس که مبتلا به کمبود روی بودند، براساس مـدل خط شکسته ساده مورد بررسـی قـرار گرفـت و مشـاهده شـد کـه بـا افزایش سطح عنصر روی از ۸ تا ۱۰ میلی‌گرم، ماده خشـک مصـرفی گوساله‌ها از ۱/۶۰ کیلوگرم در روز به ۱/۸۳ کیلـوگرم در روز افـزایش یافت و پس از آن ثابت ماند. همچنین، با افزایش سطح عنصر روی از ۸ تا ۱۸ میلی‌گرم، مقدار افزایش وزن روزانه گوساله‌ها از ۴۸۷ گرم در روز به ۶۴۰ گرم در روز و ضریب تبدیل غذایی نیز از ۳/۳۷ بـه ۲/۹۲ تغییر کرد و پس از آن ثابـت مانـد (Kirchgessner and Heindl, 1993). در یک تحقیق دیگر، با استفاده از مدل خـط شکسـته سـاده مشخص شد که مقدار عنصر مـورد نیـاز بـرای صـفات افـزایش وزن روزانه و ضریب تبدیل غذایی در بلدرچین‌هـای ژاپنـی ۲۰- ۱۰ روزه، به‌ترتیب ۸۹/۳۵ و ۶۸/۹۳ میلی‌گرم به‌ازای هر کیلـوگرم خـوراک بـود (Abbasi *et al.*, 2017).

به نظر می‌رسد که پاسخ عملکردی گوساله‌ها به مقدار عنصر روی موجود در جیره، بستگی به سطح عنصـر روی موجـود در جیـره پایـه، مقدار سطح روی مکمل شده، تفاوت‌های فردی و نیز صـفات انـدازه‌گیری شده داشته باشد. براساس نظر محققین، مقدار مصرف خـوراک، یک شاخص مهم برای برآورد نیاز عنصر روی در حیوانات مـی‌باشـد، زیرا کمبود عنصر روی در بدن سـبب کـاهش مصـرف خـوراک و بـه دنبـال آن کـاهش عملکـرد در دام مـی‌گـردد (Kirchgessner and Heindl, 1993). همچنین، تأمین نیاز بهینه یک ماده مغـذی در دام، زمانی حاصل می‌شود که دام دارای سلامت کامل و حـداکثر عملکـرد باشد. به عبارت دیگر، سطح ماده مغذی مورد آزمایش در جیره (عنصر روی)، در شرایطی به‌عنوان مقدار بهینـه و نیـاز تـأمین شـده در نظـر گرفتـه مـی‌شـود کـه منجـر بـه حـداکثر عملکـرد در دام گـردد (Kirchgessner and Heindl, 1993).

نتایج مربوط به تعیین نیاز عنصر روی در گوسـاله‌هـای شـیرخوار براساس مدل خط شکسته درجـه دو در جـدول ۶ ارائـه شـده اسـت. مطابق جدول فوق و براساس بـرازش مـدل خـط شکسـته درجـه دو، تابعیت بین نیاز عنصر روی با ماده خشک مصرفی معنی‌دار نبـود، امّـا تابعیت بین نیاز عنصر روی با سایر صفات اندازه‌گیری شـده معنـی‌دار بود (p<۰/۰۵). بر این اساس، مقدار عنصر روی مورد نیاز برای صفات افزایش وزن روزانه، وزن از شیرگیری و ضـریب تبـدیل غـذایی، بـه‌ترتیب ۸۳/۹۶، ۸۹/۱۸ و ۸۹/۵۳ میلی‌گرم بـر کیلـوگرم مـاده خشـک جیره محاسبه شد. به عبـارت دیگـر، مصـرف عنصـر روی تـا سـطح ۸۳/۹۶ میلی‌گرم، افزایش وزن روزانه گوساله‌ها را تـا ۷۵۹/۲ گـرم در روز و مصرف عنصر روی تا سطح ۸۹/۱۸ میلی‌گرم، وزن از شیرگیری گوساله‌ها را تا ۹۷/۰۱ کیلـوگرم افـزایش داد. ضـریب تبـدیل غـذایی گوساله‌ها نیز با مصرف ۸۹/۵۳ میلی‌گرم عنصر روی، تا ۲/۲۱ کـاهش یافت و مصرف بیشتر از این مقدار، تأثیری بر آن نداشت، لذا براسـاس مدل خط شکسته درجـه دو و بـا در نظـر گـرفتن صـفات عملکـردی اندازه‌گیری شده، مقدار ۸۹/۵۳ – ۸۳/۹۶ میلی‌گرم عنصر روی در هـر کیلوگرم ماده خشک جیره، به‌عنوان مقدار بهینه و نیاز برآورد شـده در گوساله‌های شیرخوار در نظر گرفته شد (شکل‌های ۱، ۲ و ۳).

جدول ۵- تعیین نیاز عنصر روی در گوساله‌های شیرخوار و پارامترهای برآورد شده براساس مدل خط شکسته ساده

Table 5- Determination of zinc requirement in suckling calves and the estimated parameters based on the straight broken line

صفات اندازه‌گیری شده Measured traits	نیاز عنصر روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) Zinc required (mg/kg DM)	پارامترهای برآورد شده توسط مدل* Estimated parameters of the model*			سطح خطا p-value
		R	U	L	
ماده خشک مصرفی (گرم بر روز) Dry matter intake (g/day)	78.72	78.72	-2.62	1692.40	0.1620
افزایش وزن روزانه (گرم بر روز) Average daily gain (g)	76.01	76.01	-2.60.	765.00	0.0896
وزن از شیرگیری (کیلوگرم) Weaning weight (kg)	76.43	76.43	-0.19	97.25	0.0314
ضریب غذایی تبدیل Feed conversion ratio	74.87	74.87	0.01	2.21	0.0385

* مدل خط شکسته ساده به‌صورت $Y = L + U(R - X)$ بود که در آن، Y: پارامتر عملکرد مشاهده شده یا پاسخ گوساله، X: غلظت عنصر روی در جیره، R: طول نقطه شکست یا مقدار نیاز برآورد شده گوساله‌ها به عنصر روی، U: شیب خط قبل از نقطه شکست و L: عرض نقطه شکسته منحنی یا حداکثر عملکرد پیش‌بینی شده

* The straight broken line model was $Y = L + U(R - X)$, where Y: observed performance parameter or response of calves, X: the concentration of zinc in the diet, R: the abscissa of the breakpoint in the curve or the estimated zinc requirement of calves, U: the slope of the line before the breakpoint and L: the ordinate of the breakpoint in the curve or the maximum predicted response of calves.

لازم به ذکر است که تنها یک تحقیق در زمینه تعیین نیاز عنصر روی با استفاده از مدل خط شکسته درجه دو که مربوط به مرغ اجداد گوشتی بود، در دسترس ما قرار گرفت (Mayer *et al.*, 2019). ایشان سطوح ۱۸/۷ تا ۷۰/۶ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم از خوراک در مرغ اجداد گوشتی را به‌منظور تعیین نیاز عنصر روی براساس صفات عملکردی مربوط به تخم‌مرغ مورد بررسی قرار دادند. در مطالعه ایشان، مقدار نیاز بهینه عنصر روی براساس صفات اندازه-گیری شده و با استفاده از مدل خط شکسته درجه دو، به‌طور میانگین ۷۲/۲۸ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم از خوراک به‌دست آمد (Mayer *et al.*, 2019).

جدول ٦- تعیین نیاز عنصر روی در گوساله‌های شیرخوار و پارامترهای برآورد شده براساس مدل خط شکسته درجه دو

Table 6- Determination of zinc requirement in suckling calves and the estimated parameters based on quadratic broken line model

صفات اندازه‌گیری شده Measured traits	نیاز عنصر روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) Zinc required (mg/kg DM)	پارامترهای برآورد شده توسط مدل* Estimated parameters of the model*			سطح خطا p-value
		R	U	L	
ماده خشک مصرفی (گرم بر روز) Dry matter intake (g/day)	49.48	49.48	0.38	1665.30	0.0896
افزایش وزن روزانه (گرم بر روز) Average daily gain (g)	83.96	83.96	-0.04	759.2	0.0070
وزن از شیرگیری (کیلوگرم) Weaning weight (kg)	89.18	89.18	-0.003	97.01	0.0261
ضریب غذایی تبدیل Feed conversion ratio	89.53	89.53	0.69×10^{-4}	2.21	0.0375

* مدل خط شکسته درجه دو به‌صورت $Y = L + U(R - X)^2$ بود که در آن، Y: پارامتر عملکرد مشاهده شده یا پاسخ گوساله، X: غلظت عنصر روی در جیره، R: طول نقطه شکست یا مقدار نیاز برآورد شده گوساله‌ها به عنصر روی، U: شیب خط قبل از نقطه شکست و L: عرض نقطه شکسته منحنی یا حداکثر عملکرد پیش‌بینی شده

* The quadratic broken line model was $Y = L + U(R - X)^2$, where Y = observed performance parameter or response of calves, X= the concentration of zinc in the diet, R= the abscissa of the breakpoint in the curve or the estimated zinc requirement of calves, U= the slope of the line before the breakpoint and L= the ordinate of the breakpoint in the curve or the maximum predicted response of calves.

براساس نظر محققین، مقدار نیاز ماده مغذی برآورد شده براساس مدل خط شکسته درجه دو، دقیق‌تر و مقدار عددی آن هم بیشتر از مقدار برآورد شده براساس مدل خط شکسته ساده می‌باشد (Robbins *et al.*, 2006). در تحقیق حاضر نیز مقدار عددی عنصر روی برآورد شده به‌وسیله خط شکسته درجه دو از مقدار برآورد شده به‌وسیله خط شکسته ساده از نظر عددی بیشتر بود که با نتایج سایر محققین (Pesti *et al.*, 2009; Robbins *et al.*, 2006) مطابقت دارد.

نتایج مربوط به تعیین نیاز عنصر روی در گوساله‌های شیرخوار براساس مدل تابعیت درجه دو در جدول ۷ ارائه شده است. مطابق جدول فوق و براساس برازش مدل تابعیت درجه دو، تابعیت بین نیاز عنصر روی با ماده خشک مصرفی معنی‌دار نبود، امّا تابعیت بین نیاز عنصر روی با سایر صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود ($p< ۰/۰۵$). بر این اساس، مقدار عنصر روی مورد نیاز برای صفات افزایش وزن روزانه، وزن از شیرگیری و ضریب تبدیل غذایی، به‌ترتیب ۸۶/۹۹، ۷۹/۵۰ و ۸۶/۹۹ میلی‌گرم عنصر روی به‌ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره محاسبه شد. به‌عبارت دیگر، مصرف عنصر روی تا سطوح اشاره شده فوق، بیشترین عملکرد را در گوساله‌ها در پی داشت. لذا با در نظر گرفتن صفات عملکردی اندازه‌گیری شده و براساس برازش مدل تابعیت درجه دو، مقدار ۸۶/۹۹–۷۹/۵۰ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره، به‌عنوان مقدار بهینه و نیاز برآورد شده در گوساله‌های شیرخوار در نظر گرفته شد (شکل‌های ۱، ۲ و ۳).

در مطالعه‌ای که با استفاده از سطوح مختلف عنصر روی (سطوح ۲۰ تا ۸۰ میلی‌گرم عنصر روی در هر کیلوگرم ماده خشک جیره) بر عملکرد بره‌های نر مهربان و براساس مدل تابعیت درجه دو انجام شد، مشخص گردید که تابعیت بین نیاز عنصر روی با صفات اندازه‌گیری شده (ماده خشک مصرفی، افزایش وزن روزانه، وزن پایان پروار و ضریب تبدیل غذایی) در بره‌ها معنی‌دار بود (Mehradkia, 2019). براساس نتایج تحقیق فوق، مقدار عنصر روی مورد نیاز بره‌های نر مهربان برای صفات اندازه‌گیری شده فوق به‌ترتیب ۶۸/۶۱، ۸۱/۳۷، ۷۷/۲۵ و ۸۸/۰۵ میلی‌گرم در هر کیلوگرم از ماده خشک خوراک به‌دست آمد (Mehradkia, 2019). همچنین گزارش شده است که عنصر روی مورد نیاز برای صفات تولید تخم‌مرغ و ضریب تبدیل غذایی در اردک‌های تخم‌گذار ۴۰–۲۱ هفته، با استفاده از مدل تابعیت درجه دو، به‌ترتیب ۶۵/۴ و ۶۸/۶ میلی‌گرم به‌ازای هر کیلوگرم خوراک بود (Zhang *et al.*, 2020). در مطالعه دیگری که به‌منظور تعیین نیاز عنصر روی در جوجه‌های گوشتی در سن صفر تا ۲۱ روزگی انجام گرفت، مشخص شد که مقدار عنصر روی مورد نیاز این جوجه‌ها براساس صفات عملکردی و مدل تابعیت درجه دو، به‌طور میانگین ۸۴ میلی‌گرم به‌ازای هر کیلوگرم خوراک بود (Huang *et al.*, 2007).

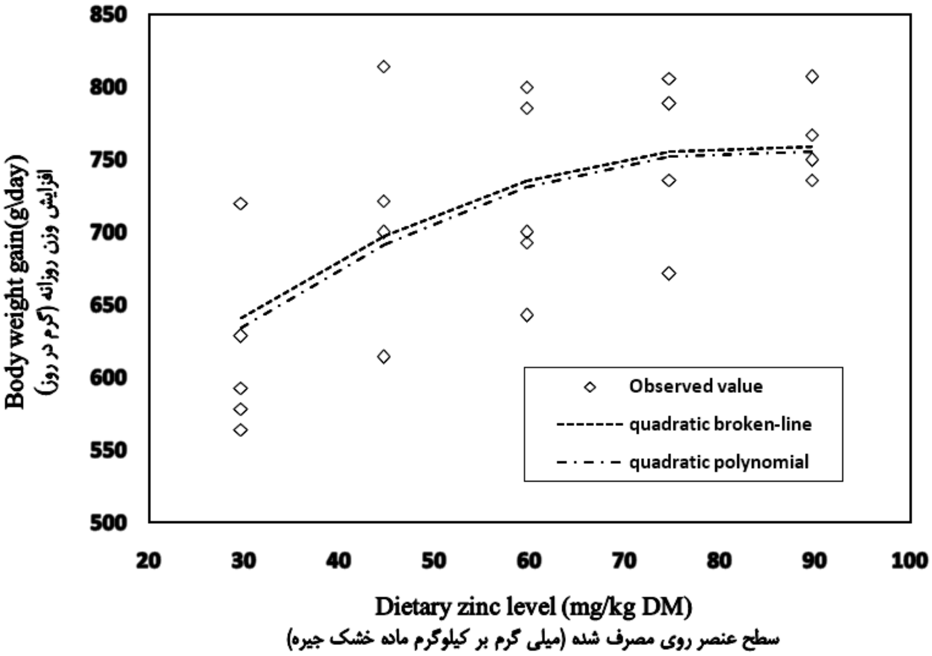
جدول ۷- تعیین نیاز عنصر روی در گوساله‌های شیرخوار و پارامترهای برآورد شده براساس مدل تابعیت درجه دو

Table 7- Determination of zinc requirement in suckling calves and the estimated parameters based on the quadratic polynomial model

صفات اندازه‌گیری شده Measured traits	نیاز عنصر روی (میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک) Zinc required (mg/kg DM)	پارامترهای برآورد شده توسط مدل* Estimated parameters of the model* a	 b	 c	حداکثر عملکرد پیش‌بینی شده Maximum predicted performance	سطح خطا p-value
ماده خشک مصرفی (گرم بر روز) Dry matter intake (g/day)	79.85	1342.80	8.46	-0.05	1700.66	0.1201
افزایش وزن روزانه (گرم بر روز) Average daily gain (gr)	86.99	468.00	6.79	-0.04	756.15	0.0070
وزن از شیرگیری (کیلوگرم) Weaning weight (kg)	79.50	75.70	0.48	-0.003	94.90	0.0261
ضریب غذایی تبدیل Feed conversion ratio	86.99	2.76	-0.01	0.69×10^{-4}	2.40	0.0375

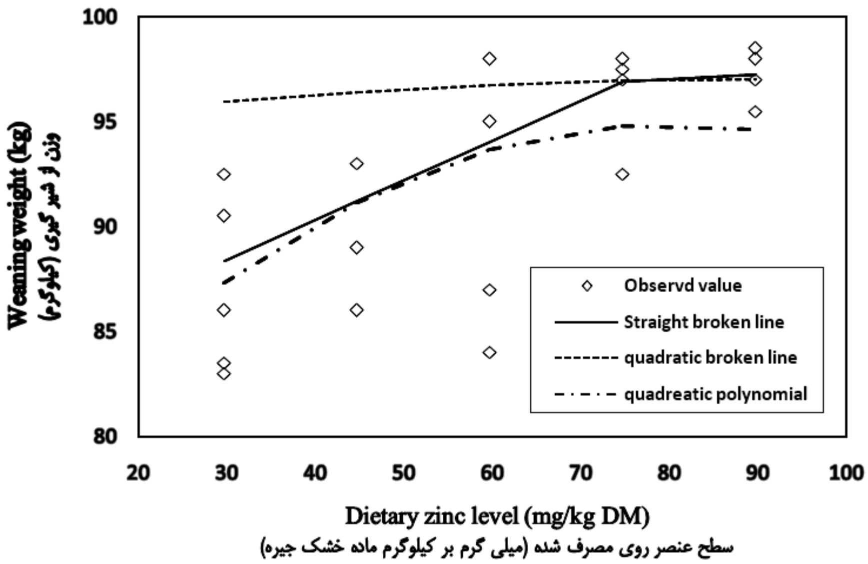
* مدل تابعیت درجه دو به‌صورت $Y = a + bX + cX^2$ بود که در آن Y: متغیر وابسته (پارامتر عملکرد مشاهده شده یا پاسخ گوساله)، X: غلظت عنصر روی در جیره، پارامترهای a، b، c: پارامترهای برآورد شده (ثابت های مدل) بودند.

* The quadratic regression model was $Y = a + bX + cX^2$, where Y: dependent variable (performance parameter or response of calves), X: zinc concentration in the diet and a, b and c: estimated parameters of the model (constant models).



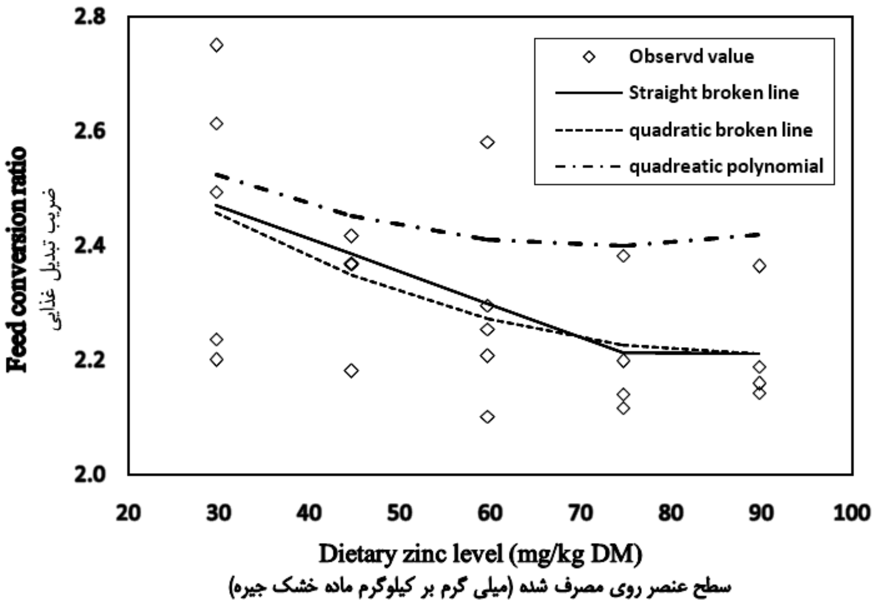
شکل ۱– تابعیت سطح عنصر روی مصرف شده و افزایش وزن روزانه در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین براساس برازش مدل‌های خط شکسته درجه دو و تابعیت درجه دو

Figure 1- Dependence of dietary zinc level and body weight gain in Holstein suckling calves based on fitting by quadratic broken line and quadratic polynomial models



شکل ۲– تابعیت سطح عنصر روی مصرف شده و وزن از شیرگیری گوساله‌های شیرخوار هلشتاین براساس برازش مدل‌های خط شکسته ساده، خط شکسته درجه دو و تابعیت درجه دو

Figure 2- Dependence of dietary zinc level and weaning weight in Holstein suckling calves based on fitting by straight broken line, quadratic broken line and quadratic polynomial models



شکل ۳- تابعیت سطح عنصر روی مصرف شده و ضریب تبدیل غذایی در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین براساس برازش مدل‌های خط شکسته ساده، خط شکسته درجه دو و تابعیت درجه دو

Figure 3- Dependence of dietary zinc level and feed conversion ratio in Holstein suckling calves based on fitting by straight broken line, quadratic broken line and quadratic polynomial models

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی، نتایج نشان داد که افزودن عنصر روی به جیره سبب افزایش وزن و وزن از شیرگیری گوساله‌ها و غلظت عنصر روی در خون آن‌ها شد، امّا اثری بر قابلیت هضم نداشت. براساس نتایج مدل‌های برازش شده، مشخص گردید که نیاز عنصر روی در گوساله‌های شیرخوار هلشتاین (مقدار بهینه آن در جیره) در محدوده ۸۹/۵۳–۷۴/۸۷ میلی‌گرم به‌ازای هر کیلوگرم ماده خشک جیره بود و وجود این مقدار روی در جیره سبب بهترین عملکرد در آن‌ها شد.

سپاسگزاری

این پژوهش در دانشگاه بوعلی سینا انجام شد که بدین‌وسیله، مراتب تشکّر و قدردانی خود را از مسؤولین محترم آن دانشگاه اعلام می‌نماییم.

References

1. Abbasi, M., Dastar, B., Afzali, N., Shams Shargh, M., & Hashemi, S. R. (2017). Zinc requirements of Japanese quails (*Coturnix coturnix* japonica) by assessing dose- evaluating response of zinc oxide nano-particle supplementation. *Poultry Science Journal*, (2), 131-143. http://dx.doi.org/10.22069/psj.2017.13227.1262
2. Aliarabi, H., Fadayifar, A., Tabatabaei, M. M., Zamani, P., Bahari, A. A., Farahavar, A., & Dezfoulian, A. H. (2015). Effect of Zinc Source on Hematological, Metabolic Parameters and Mineral Balance in Lambs. *Biological Trace Element Research*, 168(1), 82-90.,http://dx.doi.org/10.1007/s12011-015-0345-0
3. Alimohamady, R., Aliarabi, H., Bruckmaier, R. M., & Christensen. R. G. (2019). Effect of different sources of supplemental zinc on performance, nutrient digestibility, and antioxidant enzyme activities in lambs. *Biological Trace Element Research*, 189(1), 75-84. http://dx.doi.org/10.1007/s12011-018-1448-1
4. Arrayet, J. L., Oberbauer, A. M., Famula, T. R., Garnett, I., Oltjen, J. W., Imhoof, J., Kehrli, M. E., & Graham, T. W. (2002). Growth of Holstein calves from birth to 90 days: The influence of dietary zinc and BLAD status. *Journal of Animal Science*, 80, 545-552. http://dx.doi.org/10.2527/2002.803545x .
5. Azizzadeh, M., Mohri, M., & Seifi, H. A. (2005). Effect of oral zinc supplementation on hematology, serum biochemistry, performance, and health in neonatal dairy calves. *Comparative Clinical Pathology*, 14, 67–71. http://dx.doi.org/10.1007/s00580-005-0559-1
6. Choudhary, D. (2013). Influence of dietary zinc deficiency on serum zinc and protein. Indian *Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 3(1), 143–148. CABI Record Number: 20133416914

7. Deters, E. L., Van-Der-Wal, A. J., Van-Valin, K. R., Beenken, A. M., Heiderscheit, K. J., Hochmuth, K. G., Jackson, T. D., Messersmith, E. M., McGill, J. L., & Hansen, S. L. (2021). Effect of bis-glycinate bound zinc or zinc sulfate on zinc metabolism in growing lambs. *Journal of Animal Science*, 99(9), 1–9. https://doi.org/10.1093/jas/skab252
8. Dresler, S., Illek, J., & Zeman, L. (2016). Effects of organic zinc supplementation in weaned calves. *Acta Veterinaria Brno*, 85, 049–054. http://dx.doi.org/10.2754/avb201685010049
9. Fagari-Nobijari, H., Amanlou, H., & Dehghan-Banadaky, M. (2012). Effects of zinc supplementation on growth performance, blood metabolites and lameness in young Holstein bulls. *Journal of Applied Animal Research*, *40*(3), 222-228. http://dx.doi.org/10.1080/09712119.2012.662776
10. Fouda, T. A., Youssef M. A., & El-Deeb, W. M. (2011). Correlation between zinc deficiency and immune status of sheep. *Veterinary Research*, 4(2), 50-55. http://dx.doi.org/10.3923/vr.2011.50.55
11. Huang, Y. L., Lu, L., Luo, X. G., & Liu, B. (2007). An optimal dietary zinc level of broiler chicks fed a corn-soybean meal diet. *Poultry Science*, 86, 2582–2589. http://dx.doi.org/10.3382/ps.2007-00088
12. Kaya, N., Utlu, N., Uyanik, B. S., & Ozcan, A. (1998). The serum zinc and copper values of the Morkaraman and Tuj sheep grown up in the pasture conditions in and around Kars. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 22, 399-402.
13. Kennedy, K. J., Rains, T. M., & Shay, N. F. (1998). Zinc deficiency changes preferred macronutrient intake in subpopulations of Sprague-Dawley outbred rats and reduces hepatic pyruvate kinase gene expression. *Journal of Nutrition*, 128, 43–49. http://dx.doi.org/https://doi.org/10.1093/jn/128.1.43
14. Kincaid, R. L., Chew, B. P., & Cronrath, J. D. (1997). Zinc oxide and amino acids as sources of dietary zinc for calves: Effects on uptake and immunity. *Journal of Dairy Science*, 80, 1381-1388. http://dx.doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76067-3
15. Kirchgessner, M., & Heindl, U. (1993). Investigations about the determination of' the zinc requirement of calves. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 70, 38-52. https://doi.org/10.1111/j.1439-0396.1993.tb00304.x
16. MacDonald, R. S. (2000). The role of zinc in growth and cell proliferation. *Journal of Nutrition*, 130, 1500-1508. https://doi.org/10.1093/jn/130.5.1500S
17. Malakouti Rad, M. J., Saleh Rastin, N., & Afshari, M. (2002). Forgotten of zinc deficiency within the life cycle of plants, animals and human. Publications Senate, Tehran, Iran. 310 pp. (In Persian).
18. Malcolm-Callis, K. J., Duff, G. C., Gunter, S. A., Kegley, E. B., & Vermeire, D. A. (2000). Effects ofsupplemental zinc concentration and source on performance, carcass characteristics, and serum values infinishing beef steers. *Journal of Animal Science*, 78, 2801-2808. http://dx.doi.org/10.2527/2000.78112801x
19. Mallaki, M., Norouzian, M. A., & Khadem, A. A. (2015). Effect of organic zinc supplementation on growth, nutrient utilization and plasma zinc status in lambs. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 39, 75-80. https://doi.org/10.3906/vet-1405-79
20. Mandal, G. P., Dass, R. S., Isore, D. P., Garg, A. K., & Ram, G. C. (2007). Effect of zinc supplementation from two sources on growth, nutrient utilization and immune response in male crossbred cattle (Bos indicus×Bos taurus) bulls. *Animal Feed Science and Thchnology*, 38, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2006.09.014
21. Mayer, A. N., Vieira, S. L., Berwanger, E., Angel, C. R., Kindlein, L., Franca, I., & Noetzold, T. L. (2019). Zinc requirements of broiler breeder hens. *Poultry Science*, *98*, 1288–1301.
22. McDowell, L.R. (1992). Minerals in Animal and Human Nutrition. Academic Press Inc., San Diego, CA, USA, pp. 265–293.
23. Mehradkia, M. (2019). Effect of zinc supplement on performance of Mehraban male lambs and determination of their requirements using regression models. Thesis Submitted in Field of Ruminants Nutrition, Department of Animal Science, Bu-Ali Sina University. (In Persian)
24. National Research Council. (2001). Nutrient Requirements of Dairy Cattle. 7th ed. The National Academies Press, Washington, D.C., USA.
25. National Research Council. (2007). Nutrient Requirements of Small Ruminants. National Academy Press, Washington, D.C., UAS.
26. National Research Council. (2021). Consensus study report, Nutrient requirements of dairy cattle. Eighth Revised Edition, The National Academies Press, Washington, D.C., USA.
27. Pal, D. T., Gowda, N. K. S., Prasad, C. S., Amarnath, R., Bharadwaj, U., SureshBabu, G., & Sampath, K. T. (2010). Effect of copper and zinc-methionine supplementation on bioavailability, mineral status and tissue concentrations of copper and zinc in ewes. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 24, 89–94. http://dx.doi.org/10.1016/j.jtemb.2009.11.007.
28. Pesti, G. M., Vedenov, D., Cason, J. A., & Billard, L. (2009). A comparison of methods to estimate nutritional requirements from experimental data. *British Poultry Science*, *50*(1), 16-32. http://dx.doi.org/10.1080/00071660802530639
29. Prakash Pal, P., Manl, V., Hassan Mir, S., Sharma, A., & Sarka, R. S. (2021). Comparative effect of zinc supplementation by hydroxy and inorganic sources on nutrient utilisation, mineral balance, growth performance and

growth biomarkers in pre-ruminant calves. *Archives of Animal Nutrition, 75*(6), 435-449. http://dx.doi.org/10.1080/1745039X.2021.2007692

30. Robbins, K. R., Saxton, A. M., & Southern, L. L. (2006). Estimation of nutrient requirements using broken-line regression analysis. *Journal of Animal Science,* 84, 155-165. http://dx.doi.org/10.2527/2006.8413_supple155x
31. SAS. (1999). Statistical Analysis System, Statistical Methods. SAS Institute Inc., Cary, NC.
32. Seifdavati, J., Jahan-Ara, M., Seyfzadeh, S., Abdi-Benamar, H., Mirzaie-Aghjeh-Gheshlagh, F., Seyedsharifi, R., & Vahedi, V. (2018). The Effects of zinc oxide nano particles on growth performance and blood metabolites and some serum enzymes in Holstein suckling calves. *Iranian Journal of Animal Science Research, 10*(1), 23-33. (In Persian). http://dx.doi.org/10.22067/IJASR.V10I1.62376
33. Suttle, N. F. (2010). Mineral nutrition of livestock. 4th ed. CABI Publishing, New York.
34. Van Keulen, J., & Young, B. A. (1977). Evaluation of acid-insoluble ash as a natural marker in ruminant digestibility studies. *Journal of Animal Science*, 44(2), 282-287.
35. Wright, C. L., & Spears, J. W. (2004). Effect of zinc source and dietary level on zinc metabolism in Holstein calves. *Journal of Dairy Science*, 87, 1085–1091. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73254-3
36. Zaboli, K. (2013). Effect of nano zinc oxide and zinc oxid on some blood parameters and performance of Markhoz male kids. Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy in Animal Nutrition. Department of Animal Science, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. (In Persian).
37. Zhang, Y. N., Wang, S., Li, K. C., Ruan, D., Chen, W., Xia, W. G., Wang, S. L., Abouelezz, K. F. M., & Zheng, C. T. (2020). Estimation of dietary zinc requirement for laying duck breeders: Effects on productive and reproductive performance, egg quality, tibial characteristics, plasma biochemical and antioxidant indices, and zinc deposition. *Poultry Science*, 99, 454–462. https://doi.org/10.3382/ps/pez530